

I-28 水中橋脚に働く動水圧の近似計算式について

京都大学大学院 学生員 ○土岐憲三

関西電力Kk 正員 手塚昌信

円柱状水中橋脚に働く動水圧に関する理論解析およびその実験による検証はすでに行なつたが、得た理論解は繁雑であつて数値計算には適さず、また水中橋脚の振動性状を論ずるに當りてもむづかり不便である。そこでこの理論解に基づいて実用計算に適する近似式への置換を試み、さらに円柱状橋脚に働く動水圧を基準として、長方形断面や小判形断面の橋脚に働く動水圧の実験式を求めて、橋脚の形状による影響を明らかにしようとした。

1. 理論解の近似化 著者の一人は先に円柱状水中橋脚に働く動水圧についての解析結果を発表したが、その理論解において水の圧縮性な並びに表面波の影響を省略すると、橋脚の単位長さ当りに働く動水圧 P_c は次式で表わされる。

$$P_c = K_0 \rho g \pi r_0^2 \sum_{m=1}^{\infty} \frac{(-1)^{m-1}}{\alpha_m h} \frac{4}{\alpha_m r_0} \frac{k_1(\alpha_m r_0)}{K_0(\alpha_m r_0) + k_2(\alpha_m r_0)} \quad (1)$$

ここに、 $\alpha_m h = (2m-1)\pi/2$ 、 K_0 : 震度、 g : 重力の加速度、 ρ : 水の密度、 r_0 : 円柱状橋脚の半径

m : 正整数、 K_0, K_1, K_2 : 変形ベッセル関数、 h : 水深

上式は r_0/h をパラメータとする z/h の関数である。式(1)の動水圧の鉛直方向の分布を示すが図-1であるが、その形状は r_0/h の値によつて異なつてゐる。Westergaard は橋脚に働く動水圧式を2次曲線で近似したが、この場合には3次曲線の方が良い近似通りとなつてゐる。そこで動水圧の鉛直方向の分布を $\sqrt[3]{1-z/h}$ で近似的に表現する。

また一方、水深すなわち $z=0$ での P_c は明らかに r_0/h のみの関数となり、これを横軸にとつて(P_c) $_{z=0}$ の値を示したのが図-2の実線である。この曲線は同図中に示した破線により $r_0/h < 1$ の範囲では非常に良く近似される。上述の鉛直方向の分布と橋脚の細長さによる影響に関する2つの近似を行なふは上の動水圧式(1)は次式で置き換えられる。

$$P_c = K_0 \rho g \pi r_0^2 (1 - r_0/2h)^3 \sqrt[3]{1 - z/h} \quad (2)$$

つぎに、円形以外の断面形状の橋脚についても鉛直方向の分布と細長さの影響については式(2)の表現を踏襲し、これに形状による影響係数 C を乗じて次式で動水圧 P_r を表わすものとする。

$$P_r = C K_0 \rho g A (1 - a/4h)^3 \sqrt[3]{1 - z/h} \quad (3)$$

ここに、 a は橋脚の振動方向に直角な面での幅、すなわち断面幅を表わし、 A は断面積を表わす。

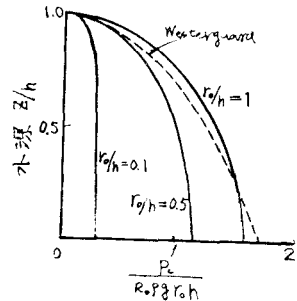


図-1 動水圧の鉛直分布

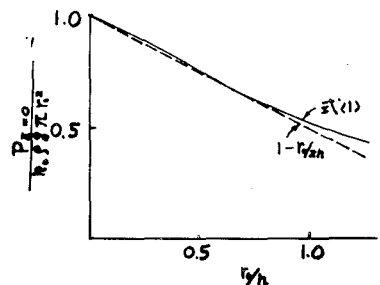


図-2 動水圧と r_0/h との関係

2. 模型実験による形状係数の測定 式(2)および式(3)で表わされた単位長さ当りの動水圧をその全長にわたって積分すると、橋脚に作用する全動水圧が得られるが、これを橋脚の慣性力で除したものは質量の次元を有するから、さらにこれを排除した水の質量で除したものが仮想質量係数と呼ぶことにする。このとき、式(3)の形状係数 C は円柱状橋脚における仮想質量係数で対象とする橋脚の仮想質量係数を除した値として求められる。一方、仮想質量係数 β は模型とバネより成る振動系の空中および水中での自由振動周期をそれぞれ T_a, T_w , 橋脚の密度を ρ_0 , 水の密度を ρ とすれば

$$\beta = \rho_0 / \rho \{ (T_w / T_a)^2 - 1 \}$$

で与えられる。実験に供した模型は合計38個であり、実験は4グループに合わせて実施し、各グループとも3系列に分類した。すなわち円形断面の模型をC系列とし、振動方向と直角な面への投影面積が円形断面の模型のそれと等しい模型群をA系列、C系列と等しい断面積を有する模型群をB系列とした。模型の前面幅を a , 奥行きを b としたとき、A系列では $a/b = 0.5, 1, 2, 3, 4$, B系列では $a/b = 1, 2, 3, 4$ になるように模型を作製した。また同一シリーズの模型の高さは一定とした。グループIは各実験の基準となるものであり、グループIIは模型の規模による効果を見出すことを目的として右辺の長さをグループIの2倍にした。グループIIIは隅角の影響を知るために両側に半円柱をつけて小方形断面にし、グループIVは動揺振動による影響を除いて並進運動のみを取り出すために模型の上端にもバネを取り付けたものである。(図-4参照)

形状係数 C の測定結果を図-5に示したが各グループとも C と a/b との関係には大きな差異は認められない。これは断面形の種類、規模、振動様式などが形状係数に与える影響は小さく、 a/b の影響が最も顕著であることを示している。また形状係数 C は明らかに a/b に比例し、この関係は $C = a/b$ なる直線のそれよりわずかに緩いが、模型の設定や測定上の誤差を考慮するならば $a/b < 2$ の範囲内に限っては $C = a/b$ と定めても大過ないものと考ええる。長方形断面においては $C = a/b$ とあれば式(3)より明らかで、動水圧 P は前面幅の2乗に比例し奥行き b の長さには関係しないことになる。したがって、 $a/b < 1$, $a/b < 2$ の範囲内では式(3)はさらに近似せよと

$$P = k_0 \rho g a^2 (1 - a/4b)^2 \sqrt{1 - z/b}$$

と表わされる。

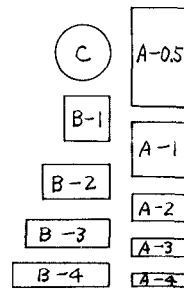


図-3 模型断面の概要

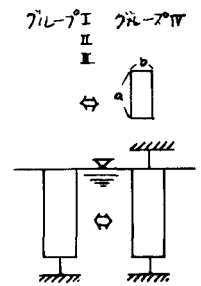


図-4 模型の振動方向

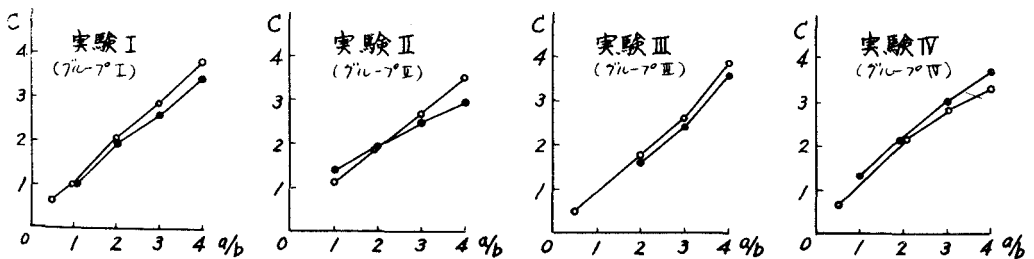


図-5 模型による形状係数 C の測定値 (○ A系列 ● B系列)